Anmerkungen zum Artikel

„Wärmeübertragung durch Strahlung unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Verhältnisse“

(„Stadt- und Gebäudetechnik“, Heft 4/1982)

Dr. sc. techn. Bernd GLÜCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung – Institut –

1. Es ist bereits seit Einführen des Gesamtstrahlungskoeffizienten nach der von *Nusselt* im Jahr 1918 vorgeschlagenen Näherung $C_{1,2} = C_1 \cdot C_2/C_s$ bekannt, daß der übertragene Energiestrom fehlerbehaftet ist, da der Einfachheit halber nur die erste Absorption berücksichtigt wird. Deshalb darf diese Näherung auch nur bei Emissionskoeffizienten ε nahe Eins verwendet werden. Eine genauere Rechnung ist möglich, wenn das bilaterale Modell verlassen wird und die bekannte Methode des umschlossenen Raums Verwendung findet. Wegen des großen rechnerischen Aufwands konnte sich diese Methode noch nicht in der Praxis durchsetzen. In jüngster Zeit wurde eine Näherung erarbeitet, die den Aufwand kaum vergrößert, die Ergebnisse aber merklich verbessert (es wird in einem der nächsten Hefte darüber berichtet).

2. Die Richtungsabhängigkeit der Emissionskoeffizienten von *Schmidt* und *Eckert* aus dem Jahre 1935

$$\varepsilon_\beta = \frac{\dot{e}_\beta}{\dot{e}_{s,\beta}}, \tag{1}$$

die im Bezugsartikel in den Bildern 1 und 2 dargestellt sind, wurden fälschlicherweise als „Ersatz für das Kosinusgesetz“ gedeutet. Damit sind alle weiteren Aussagen einschließlich der neu entwickelten Einstrahlzahlen unrichtig.

3. Die Verteilung der Energiestrahlung folgt bei schwarzen und grauen Strahlern dem Kosinusgesetz

$$\dot{e}_{s,\beta} = \dot{e}_{s,n} \cos\beta. \tag{2}$$

Bei realen Strahlern treten Abweichungen auf. Nach Einsetzen der Gl. (1) gilt dann

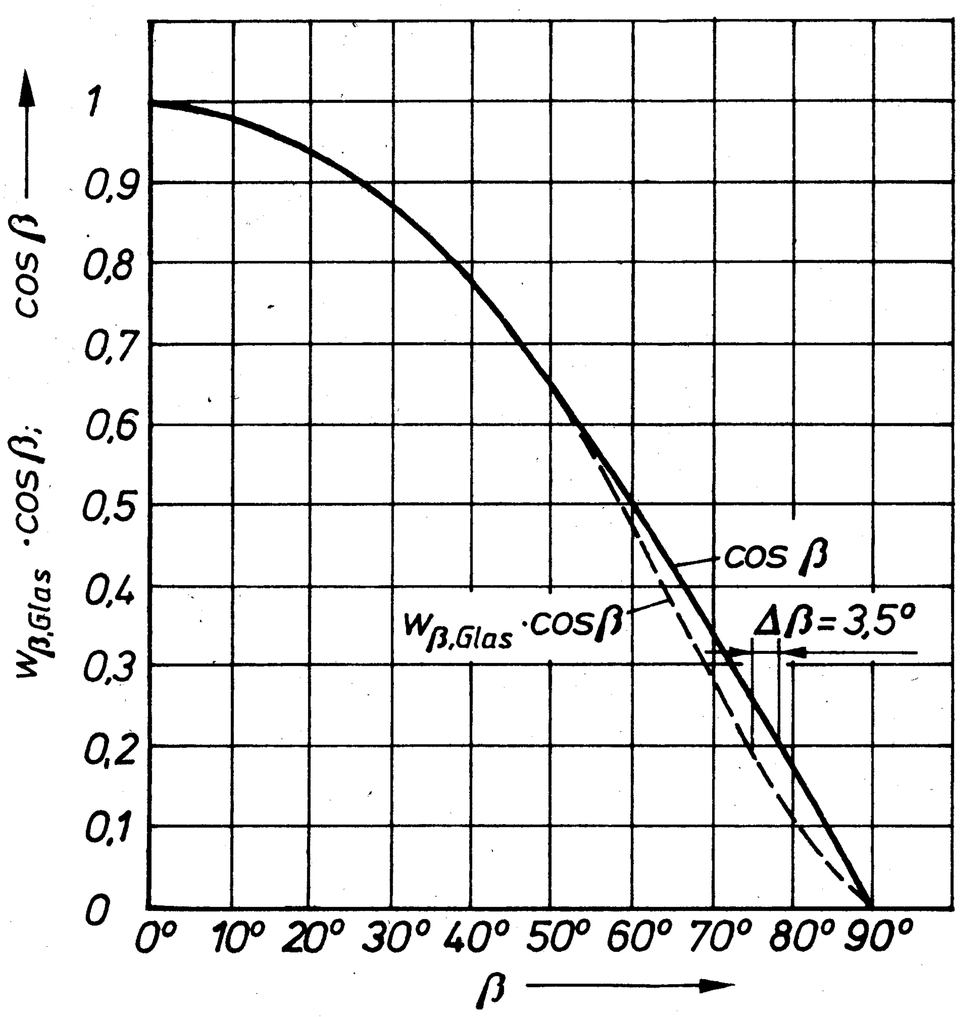
$$\dot{e}_\beta = \varepsilon_\beta \, \dot{e}_{s,n} \cos\beta. \tag{3}$$

Die von *Zetchi* abgeleitete Gl. (9) stellt, wie eine Überprüfung mit Gl. (18) ergab, den richtungsabhängigen Emissionskoeffizienten ε_β, bezogen auf den Emissionskoeffizienten in Normalenrichtung ε_n, dar

$$w_\beta = \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_n} = c_0 + c_1 \cos\beta + \ldots + c_{2n-1} \cos(2n-1)\beta. \tag{4}$$

Damit kann Gl. (3) zu

$$\dot{e}_\beta = \varepsilon_n \, w_\beta \, \dot{e}_{s,n} \cos\beta \tag{5}$$



weiterentwickelt werden. Die bekannte Integration über den Halbraum liefert die Gesamtemission $\dot{e}$. Da für den schwarzen und grauen Körper $w_\beta = 1$ gilt, folgt

$$\frac{\dot{e}}{\dot{e}_n} = \pi.$$

Für reale Strahler führt *Zetchi* das Verhältnis

$$\frac{\dot{e}}{\dot{e}_n} = \pi\xi \tag{6}$$

ein und gibt für Aluminium $\xi = 3{,}7586$ und für Glas $\xi = 1{,}6269$ an. Eine von mir durchgeführte numerische Integration liefert mit den von *Zetchi* nach Gl. (17) und (18) aufgestellten Fourierreihen für
Aluminium $\xi = 1{,}28$
Glas $\xi = 0{,}94$.
In der Literatur mitgeteilte $\varepsilon/\varepsilon_n$-Meßwerte geben für diese Stoffe 1,26 bzw. 0,93 an.

4. Die materialbezogenen Einstrahlzahlen für real emittierende und im gleichen Verhältnis absorbierende Flächenelemente 1, die mit schwarzen oder grauen Oberflächen 2 – wie in Gl. (11) beschrieben – im Strahlungsaustausch stehen, müßten m. E. richtig lauten:

$$\varphi'_{1,2} = \frac{1}{\pi\xi_1} \int_{A_2} w_{\beta_1} \frac{\cos\beta_1 \cos\beta_2}{s^2} \, \mathrm{d}A_2 \tag{7}$$

Im Bezugsartikel fehlt $\cos\beta_1$, und ξ_1 stimmt wertmäßig nicht, wodurch allerdings eine gewisse Fehlerkompensation eintritt. Die *numerische* Auswertung ergibt für Glas ($\mathrm{d}A_1$ senkrecht unter der Ecke von A_2) mit $a/h = b/h = 5$:

Flächenelement 1 parallel zur Rechteckfläche 2
$\varphi'_{1,2} = 0{,}246$ *Zetchi*: $\varphi'_{1,2} = 0{,}212$ (objektiv falsch!)
$\varphi'_{1,2} = 0{,}242$ (bisher üblicher Wert)
Flächenelement 1 senkrecht zur Rechteckfläche
$\varphi'_{1,2} = 0{,}193$ *Zetchi*: $\varphi'_{1,2} = 0{,}205$ (objektiv falsch!)
$\varphi'_{1,2} = 0{,}195$ (bisher üblicher Wert)

Die absoluten Abweichungen zwischen stoffbezogenen Einstrahlzahlen $\varphi'_{1,2}$ und den bisher verwendeten rein geometrischen Einstrahlzahlen $\varphi'_{1,2}$ sind für übliche Baustoffe und Geometrien unbedeutend. Dies ist gemäß Bild 1, in dem ein Teil des Integranten ($w_\beta \cos\beta$) ausgewertet wurde, auch zu erwarten. Die größte Abweichung vom Kosinusgesetz kommt einer Winkeländerung von nur etwa 3,5° gleich. Demgegenüber stehen die Genauigkeit der Winkelermittlung in der Praxis und die meistens vorgenommenen geometrischen Vereinfachungen der realen Oberflächen.

5. Das Errechnen von materialbezogenen Einstrahlzahlen wäre mit dem im Institut Technische Gebäudeausrüstung vorhandenen Rechenprogramm ohne weiteres möglich und bedarf vorerst keiner weiteren theoretischen Untersuchung. Dagegen müßten dringend durch Messungen die Emissions- und Absorptionskoeffizienten der modernen Baustoffe einschließlich infrarotreflektierender Tapeten temperatur- und winkelabhängig bestimmt werden. Rauhe Oberflächen (moderne Tapeten) und offene Poren in der Oberfläche erhöhen den Emissionskoeffizienten (scheinbare Schwärzung). Falls eine neue Definition der Einstrahlzahl zu erwarten ist, sollte diese nicht auf dem stark fehlerbehafteten bilateralen Strahlungsaustausch aufbauen, sondern von der Bruttomethode ausgehen. Für endliche Flächen könnte beispielsweise die Näherung

$$\varphi^*_{1,2} = \frac{1}{A_1} \frac{1}{\pi} \int_{A_1} \int_{A_2} u_1(\beta_1) \frac{\cos\beta_1 \cos\beta_2}{s^2} \, v_2(\beta_2) \, \mathrm{d}A_2 \, \mathrm{d}A_1 \tag{8}$$

mit dem Reflexionsverhältnis $u(\beta) = \dfrac{(1-a)_\beta}{1-a}$

und dem Emissionsverhältnis $v(\beta) = \dfrac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon} = \dfrac{w_\beta}{\xi}$

diskutiert werden. Eine tabellarische Vorausberechnung der Einstrahlzahlen wäre aber nur dann sinnvoll, wenn die Verhältnisse $u(\beta)$ und $v(\beta)$ für eine breite Baustoffpalette gelten würden.